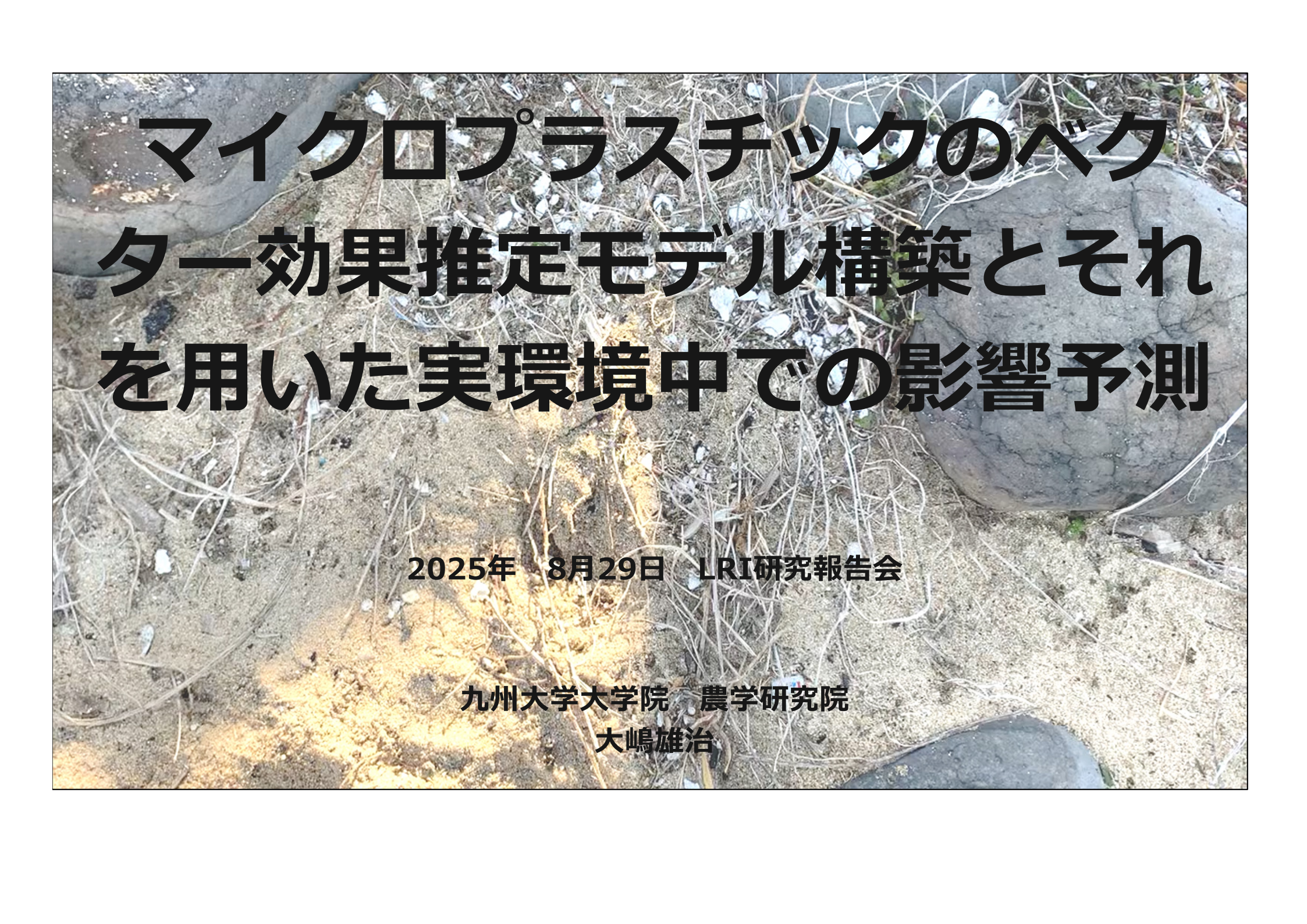




マイクロプラスチックのベクター効果推定モデル構築とそれを用いた実環境中での影響予測

2025年 8月29日 LRI研究報告会

九州大学大学院 農学研究院
大嶋雄治



Polycyclic aromatic hydrocarbons affiliated with microplastics in surface waters of Bohai and Huanghai Seas, China[☆]

Lei Mai, Lian-Jun Bao, Lei Shi, Liang-Ying Liu, Eddy Y. Zeng^{*}

^{*}School of Environment and Guangdong Key Laboratory of Environmental Pollution and Health, Jinan University, Guangzhou 510632, China

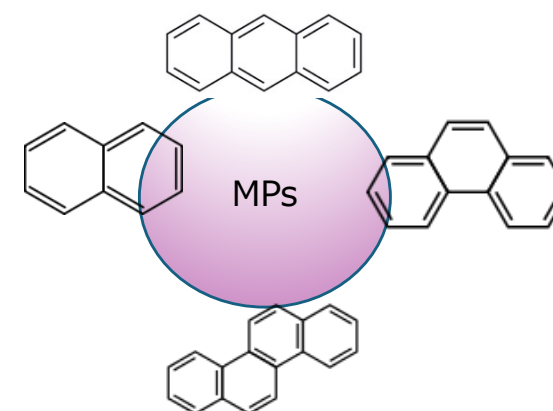
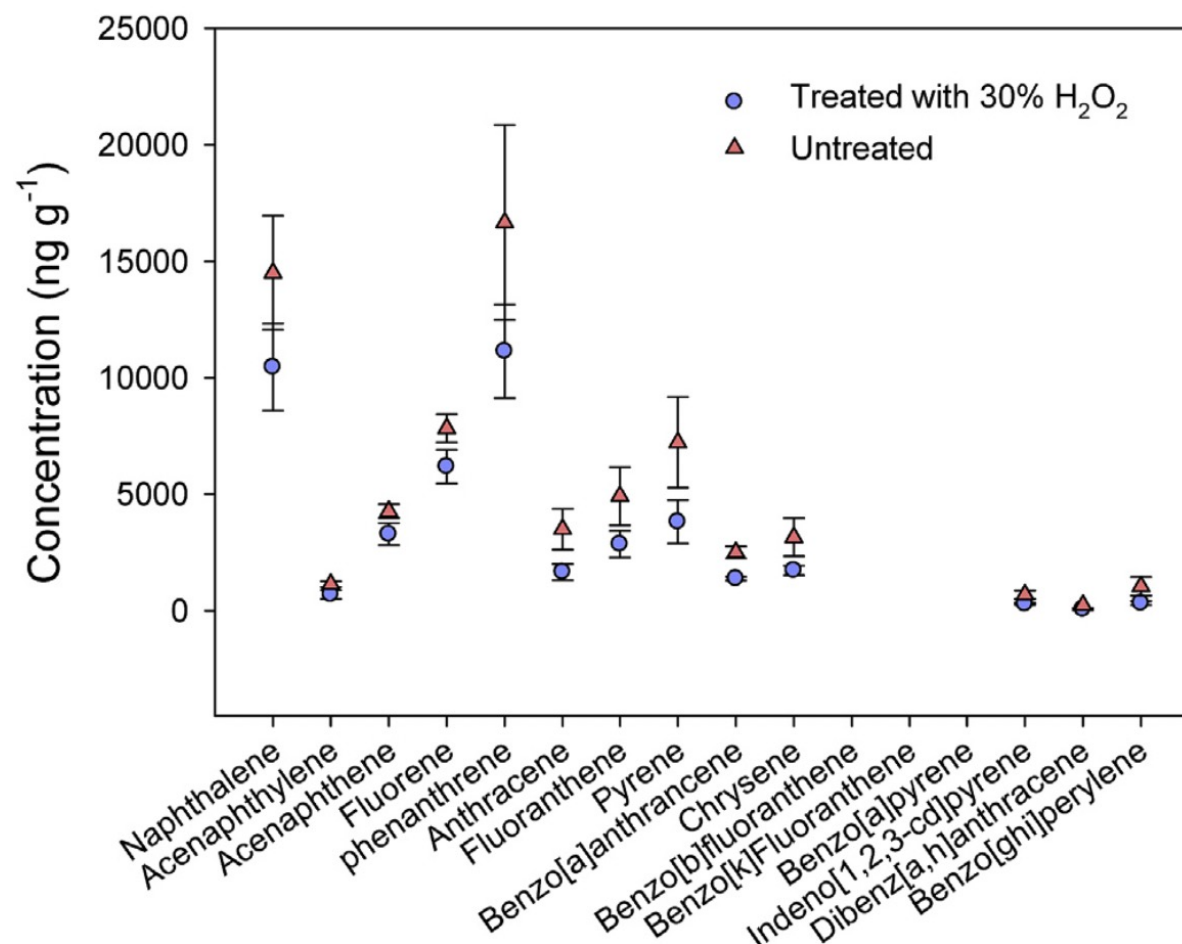
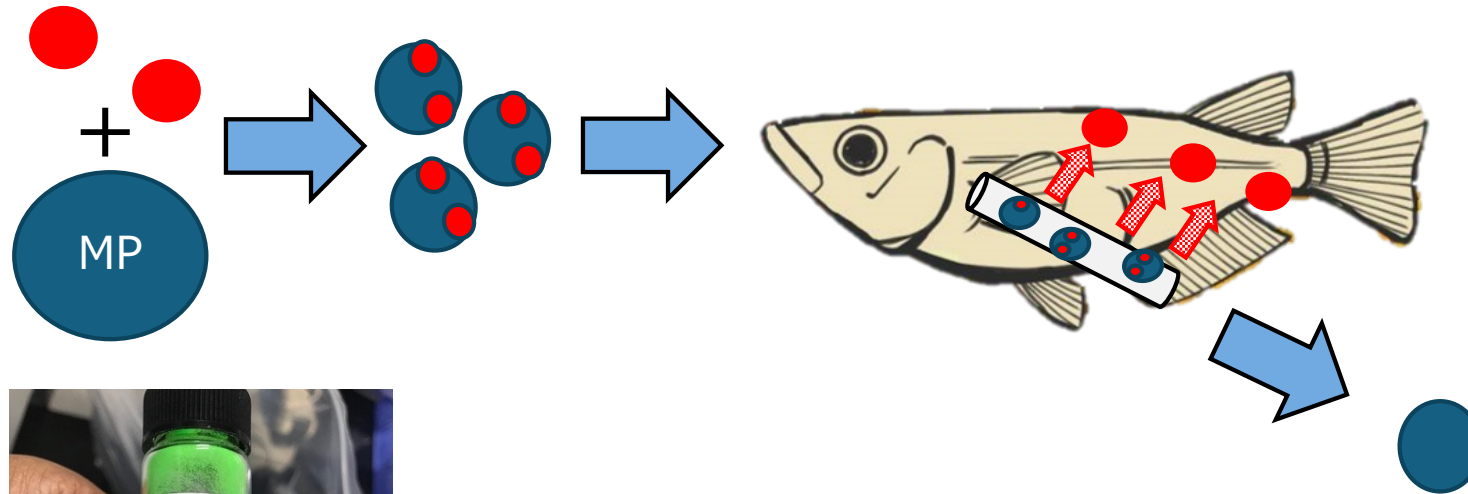


Fig. 2. The concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in microplastic samples treated with (blue circles) and without (red triangles) 30% H₂O₂ for 24 h. Error bars represent the standard deviations. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

汚染物質である芳香族炭化水素(PaHs) は環境中でMPに吸着している

影響
(蓄積, 行動, 神経系)

化学物質 => 吸着 => 体内での脱着 = ベクター効果



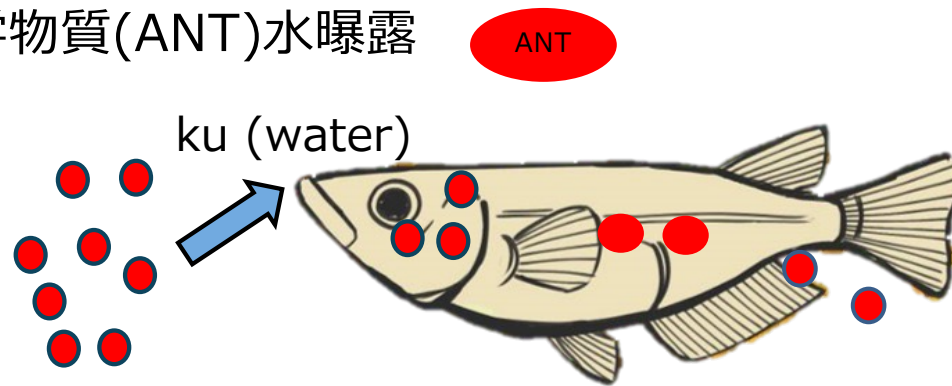
ベクター効果に及ぼす因子

化学物質の特性、濃度

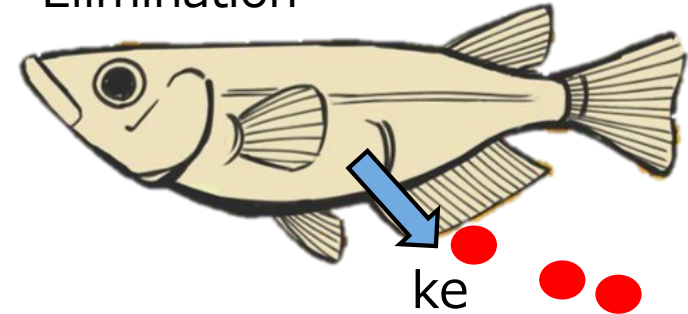
MPの濃度、サイズ、素材、形状

MPの化学物質蓄積介在 (ベクター効果)

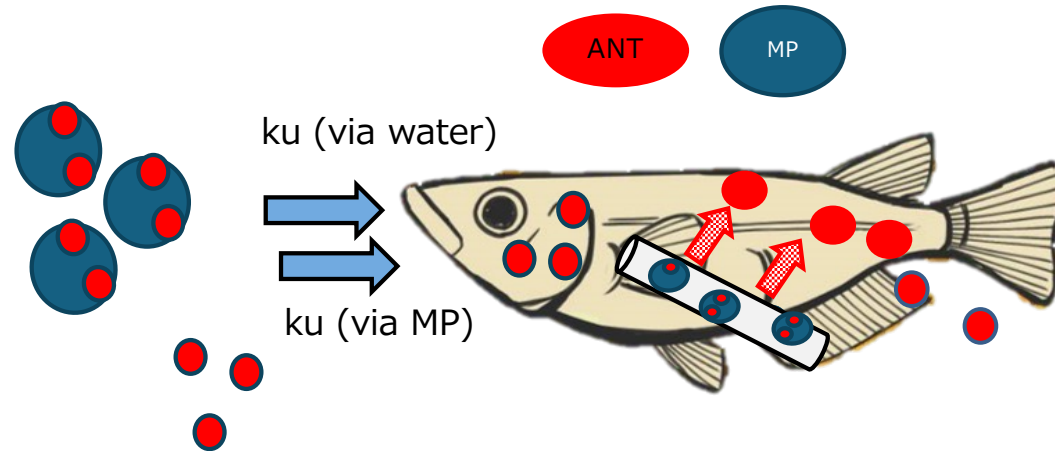
i) 化学物質(ANT)水曝露



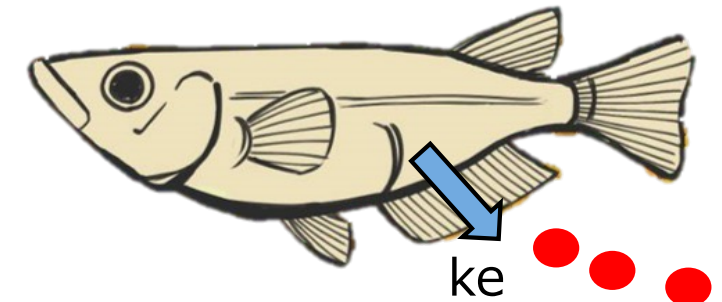
Elimination



ii) 化学物質(ANT)水暴露+MP 共曝露



Elimination



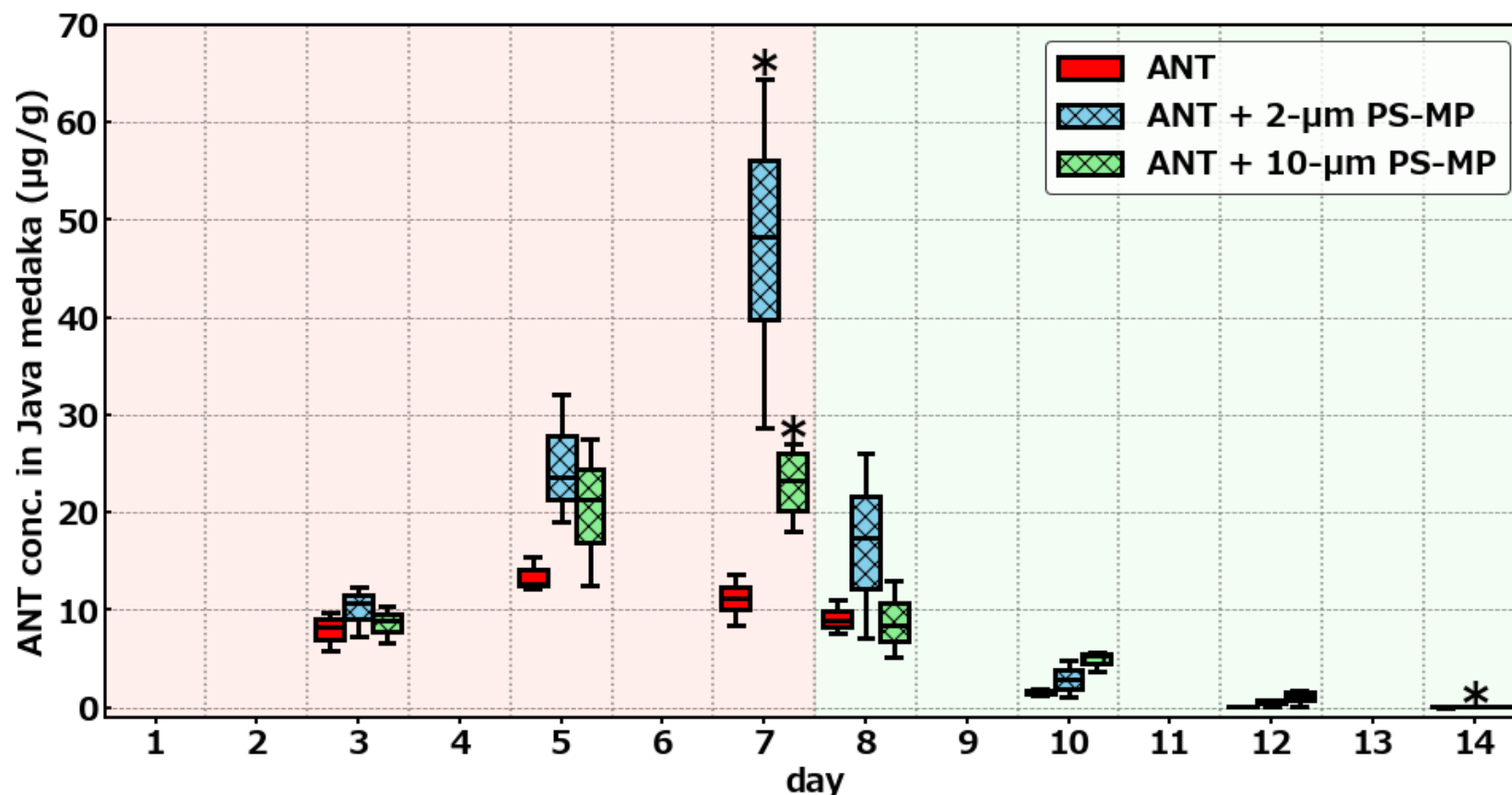
iii) ベクター効果によるANT(MP経由ANT)

= ANT+MP共曝露両経由ANT(iiの結果)

－ 水経由ANT (i)のモデルによる推定)

図1 1-コンパートメントモデルを用いたベクター効果の推定方法

PS-MP(2 μm , 10 μm) を介したANTの海産メダカ体内取込み



試験魚としてジャワメダカ (*Oryzias javanicus*, 平均体重 0.28 ± 0.07 g) を用いた。MPはポリスチレンMP (PS-MP、緑色蛍光ラベル済、粒径10- μm または2- μm 、Polyscience社) を使用し、試験化学物質としてアントラセン (ANT) を用いた。試験区として溶媒対照区、ANT単独曝露区 (ANT 0.1 mg/L)、2- μm PS-MP単独曝露区 (2- μm PS-MP 0.1 mg/L)、10- μm PS-MP単独曝露区 (10- μm PS-MP 0.1 mg/L)、ANT+2- μm PS-MP曝露区 (ANT 0.1 mg/L、2- μm PS-MP 0.1 mg/L)、ANT+10- μm PS-MP曝露区 (ANT 0.1 mg/L、10- μm PS-MP 0.1 mg/L) の合計6試験区を設定した。まず、ガラス試験管を使用してANTとPS-MPを10 mLの人工海水中で48時間攪拌し、ANT吸着PS-MPを作成した (攪拌時のANT濃度: 0.18 mg/mL、PS-MP濃度: 0.01 mg/mL)。その後、攪拌した溶液を18 Lの人工海水に入れ、曝露溶液とした。試験期間は曝露期間7日間と排出期間7日間の合計14日間とし、試験期間中は毎日換水を行った。また、試験期間中は試験魚の体重2%分の粉餌を毎日給餌した (09:00、18:00)。試験期間中、曝露溶液は曝露開始時から1日おきに、ジャワメダカは3、5、7、8、10、12、14日にサンプリングを行った。

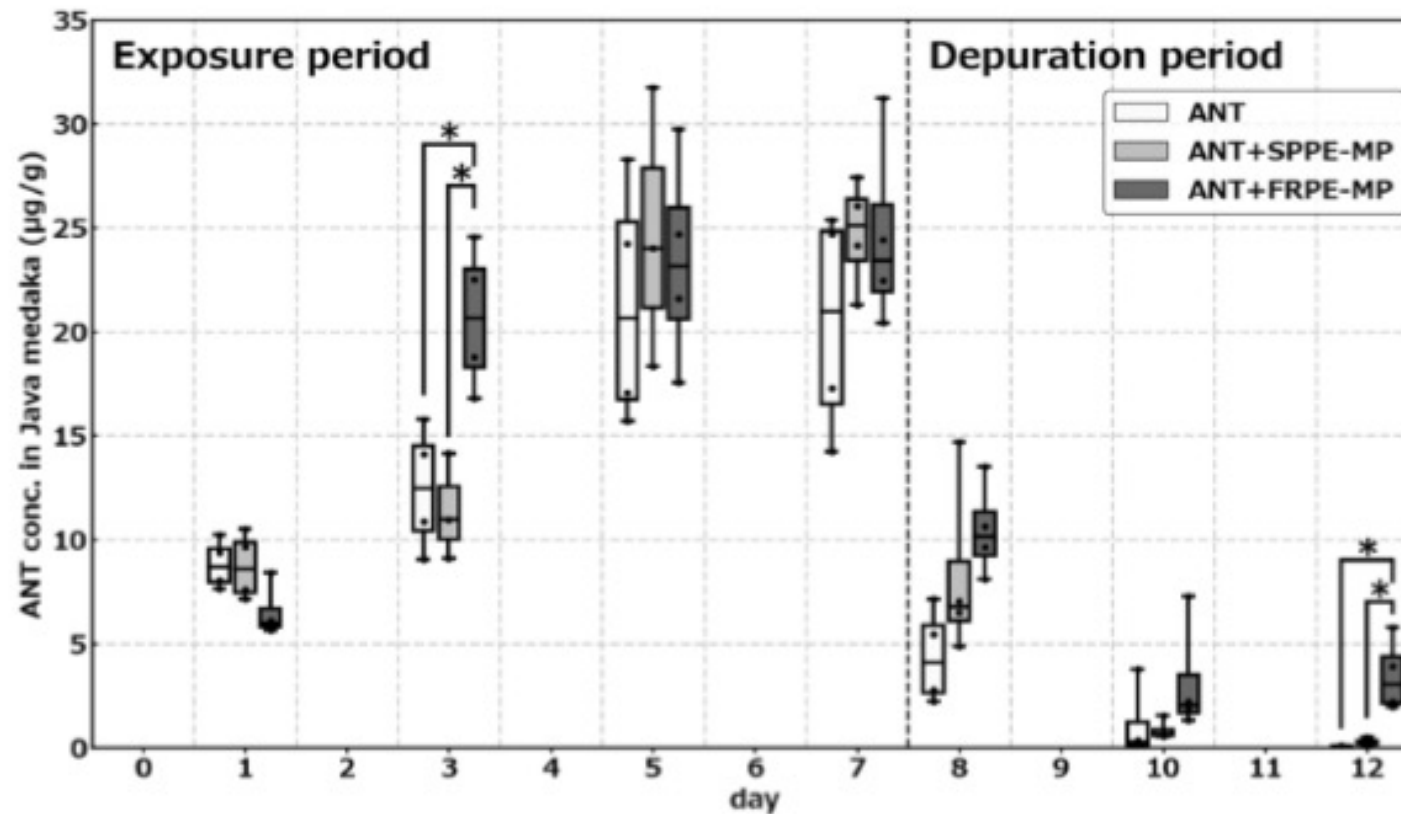


図3 ジャワメダカ筋肉中のANT濃度。実験区：ANT単独（ANT）、ANTと球状PE-MPの共曝露（ANT + SPPE-MP）、ANTと破砕状PE-MPの共曝露（ANT + FRPE-MP）。(Takai et al., 2023a)より転載

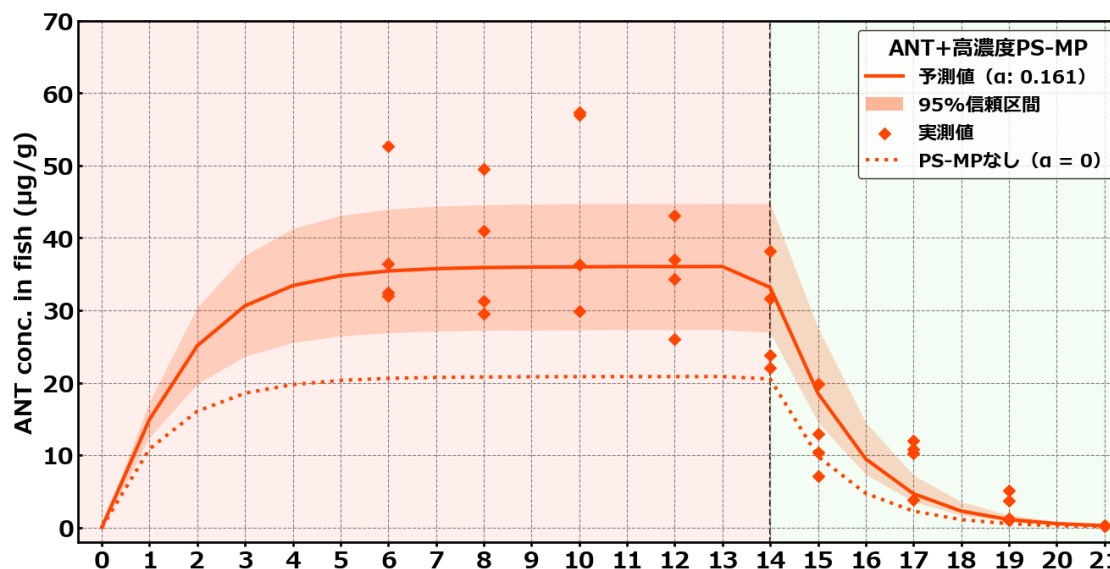
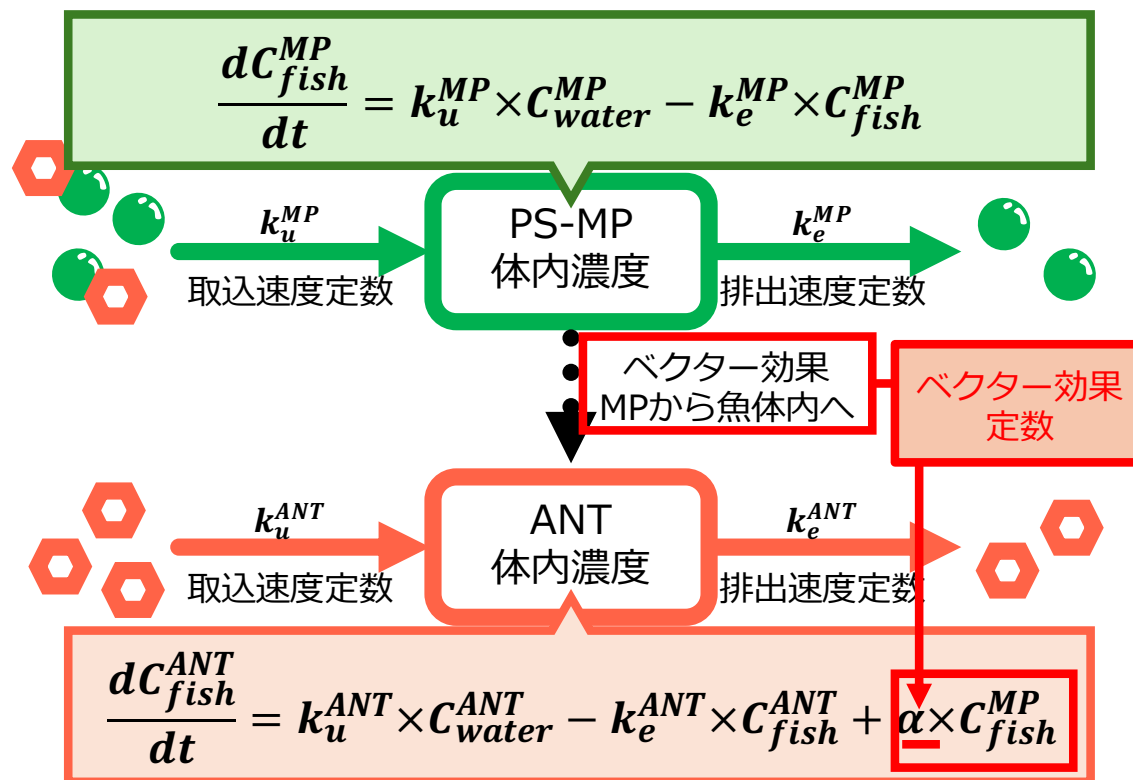


図8 ツイン1-コンパートメントモデルの結果。ひし形はジャワメダカの筋肉中で測定されたANT濃度を示す。赤線はツイン1-コンパートメントモデルから推定されたジャワメダカ中のANT濃度を示し、網掛け部分は95%信頼区間を示す。ANTおよび2-μmPS-MP共曝露された区。

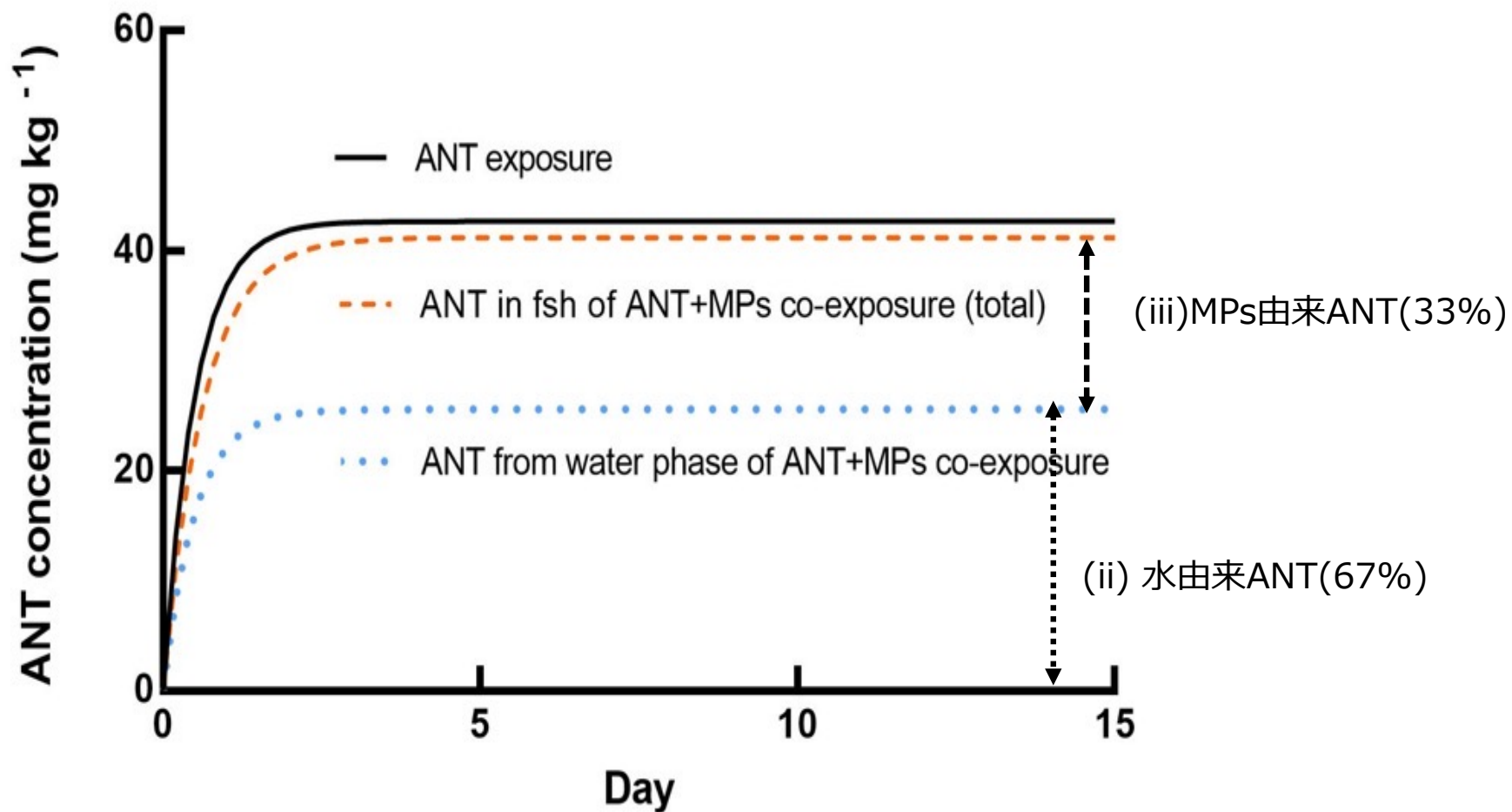


図 2 ANTおよびMPに共曝露したメダカ体内における、総ANT濃度に対する各取り込み経路の寄与率。本図は (ii) 水中に溶解したANTの直接的な取り込み（水経由）と、(iii) MPに吸着したANTの間接的な取り込み（MP経由）が、それぞれ体内の総ANT濃度にどの程度寄与するかを示している。

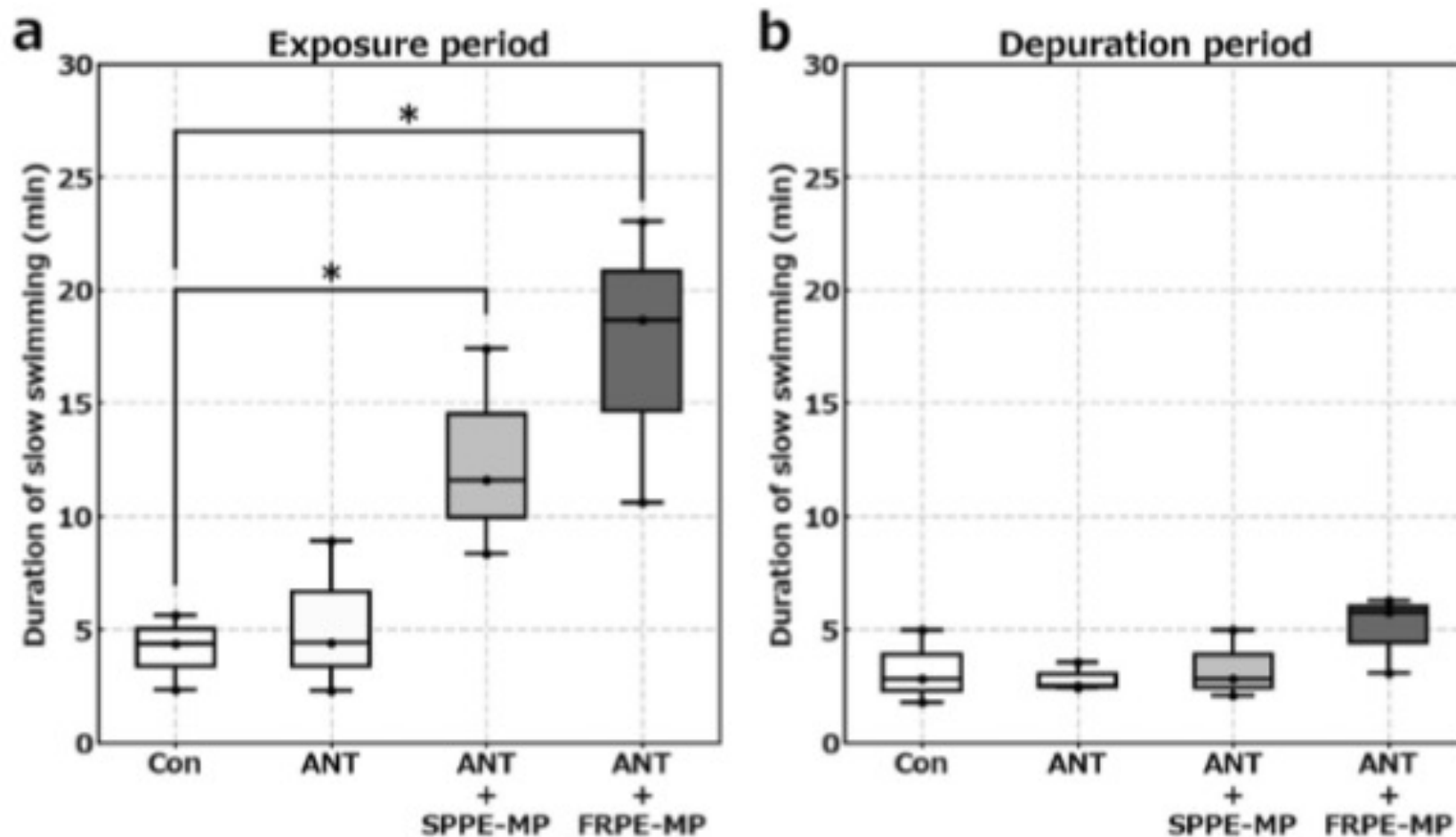


図4 各種曝露条件下におけるジャワメダカの低速（<10 mm/s）遊泳時間。実験区：ANT単独（ANT）、ANTと球状PE-MPの共曝露（ANT + SPPE-MP）、ANTと破砕状PE-MPの共曝露（ANT + FRPE-MP）。(Takai et al., 2023a) より転載

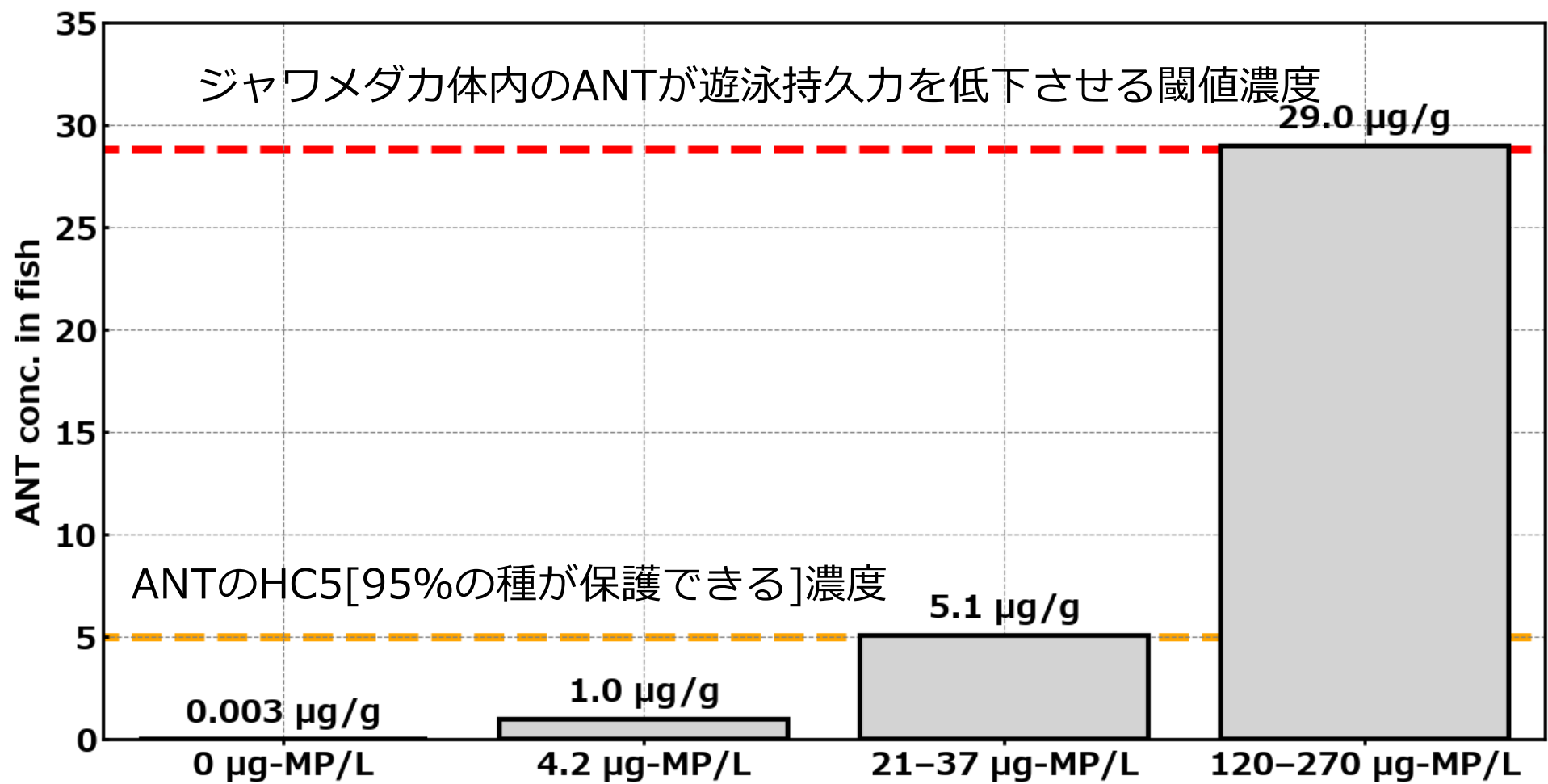
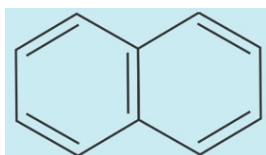


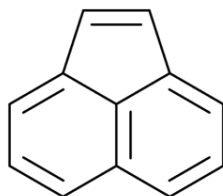
図9 実環境中でありうるANT濃度および異なる濃度のPS-MPを用いたツイン1-コンパートメントモデルの結果。バーグラフは、環境で検出されたANT濃度（1.6 ng/L；Kurihara et al., 2005）、および異なる濃度のPS-MP（10-μmPS-MP）を用いたツイン1-コンパートメントモデルによるジャフメダカ体内の推定ANT濃度を示す。計算は以下のシミュレーション条件下で実施された：i) MPなし（0 μg/L）、ii) 現在のMP環境報告濃度（4.2 μg/L；Materić et al., 2022）、iii) ANT体内濃度（5.1 μg/g：ANTのHC5[95%の種が保護できる]濃度で曝露）に達するMP濃度（21-37 μg -MP /L）、iv) 生物影響（遊泳持久力低下）が報告されたMP濃度（120-270 μg/L）。破線（29 μg/g-muscle）は、ジャフメダカ体内のANTが遊泳持久力を低下させる閾値濃度。

実験1 PAHs (16種類)のベクター効果

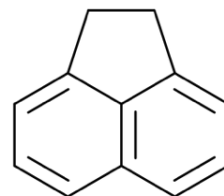
○Naphthalene



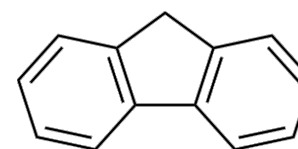
○Acenaphthylene



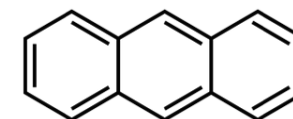
○Acenaphthene



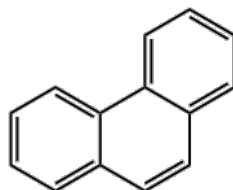
○Fluorene



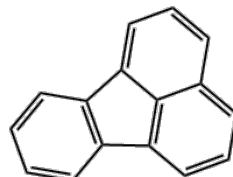
○Anthracene



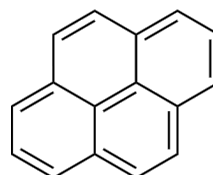
○Phenanthrene



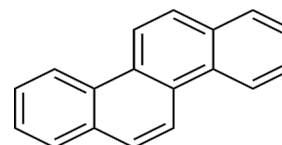
○Fluoranthene



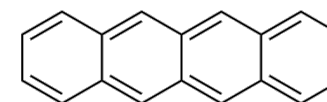
○Pyrene



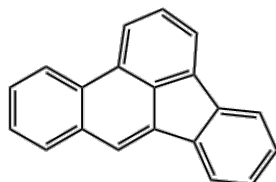
○Chrysene



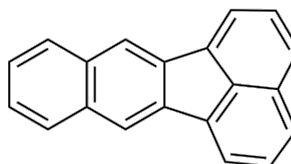
○Benz(a)anthracene



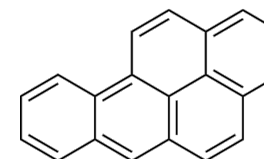
○Benzo(b)fluoranthene



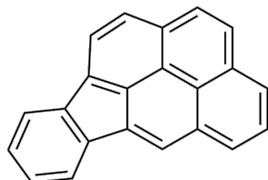
○Benzo(k)fluoranthene



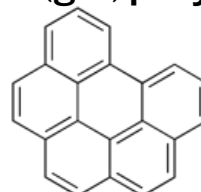
○Benz(a)pyrene



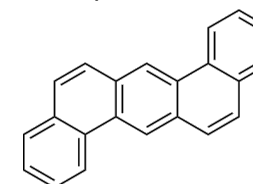
○Indeno(1,2,3-cd)pyrene



○Benzo(ghi)perylene

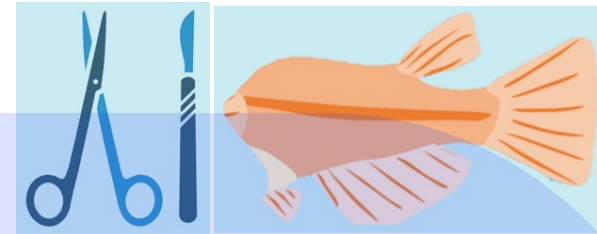
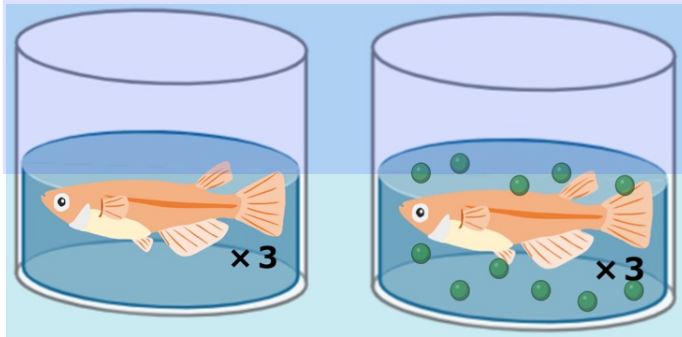


○Dibenz(a,h)anthracene

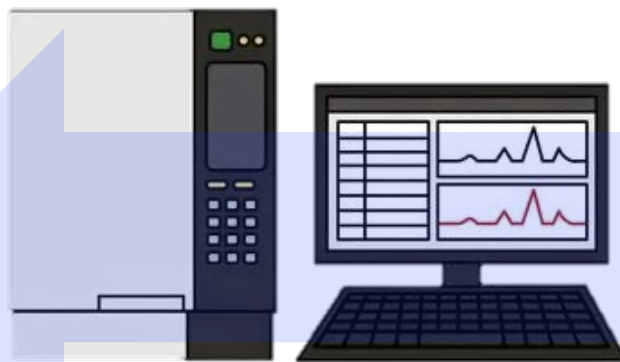


実験 1 PAHs (16種類)のベクター効果-QuEChERS法

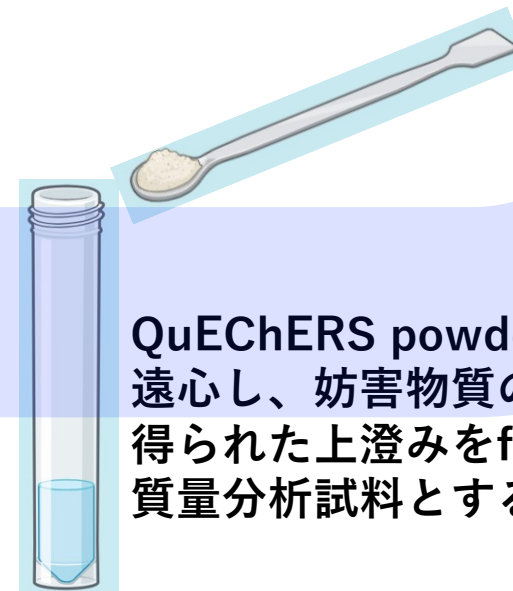
24 hかけPAHsをMPに吸着。
PAHs区とMP+PAHs区の2試験区で
24 hメダカに曝露する



メダカ試料をポリトロンにて破砕
アセトニトリルにてPAHsを抽出



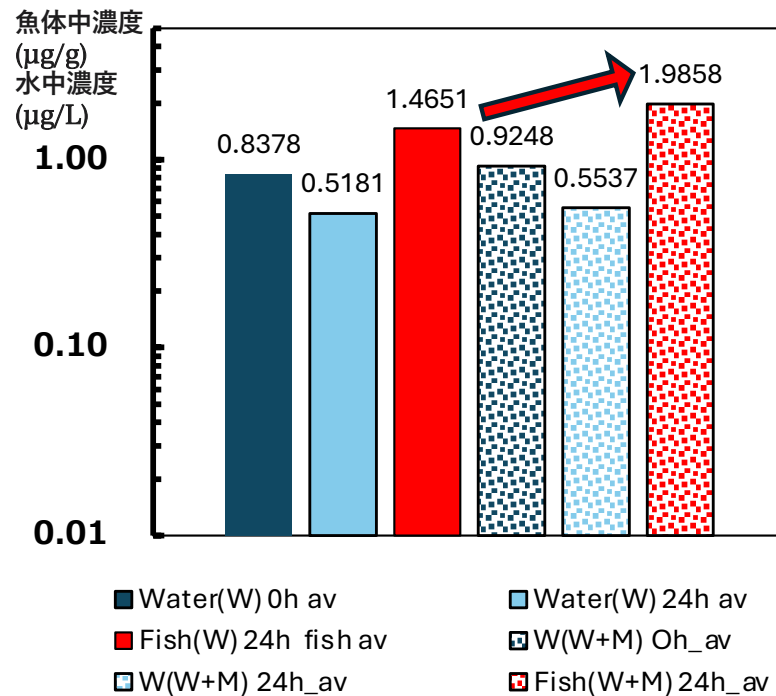
GC-MS
(ガスクロマトグラフィー質量分析法)



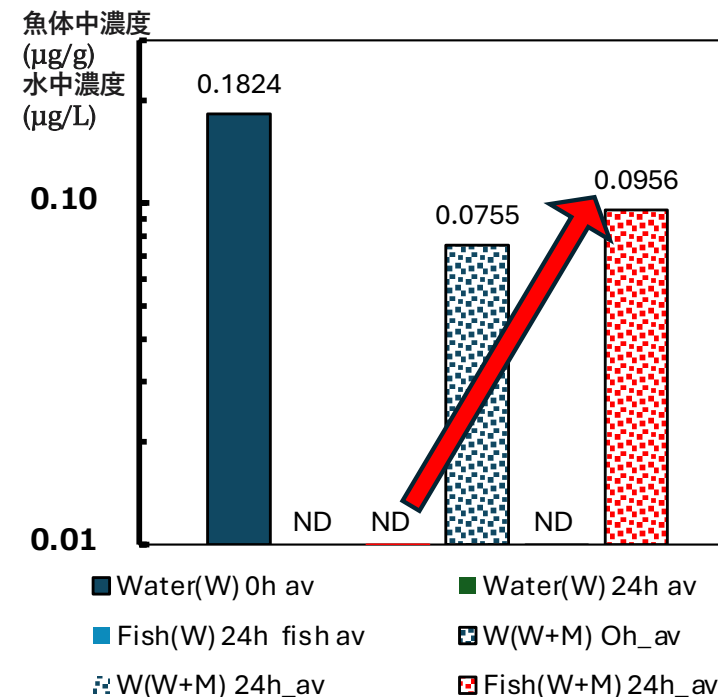
QuEChERS powderを加えて
遠心し、妨害物質の除去
得られた上澄みをfilterで濾過し
質量分析試料とする

実験1 PAHs (16種類)のベクター効果

Naphthalene(Nap)



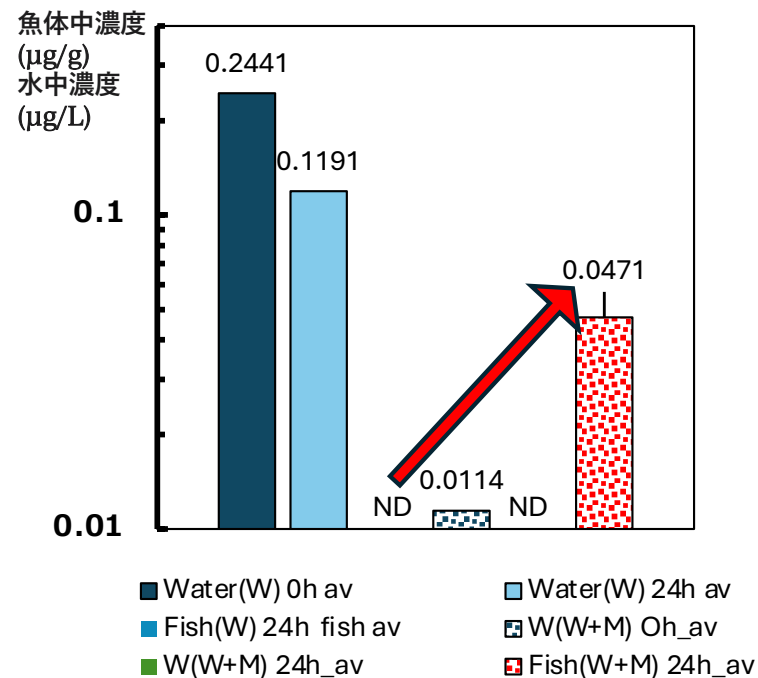
Acenaphthylene(Acy)



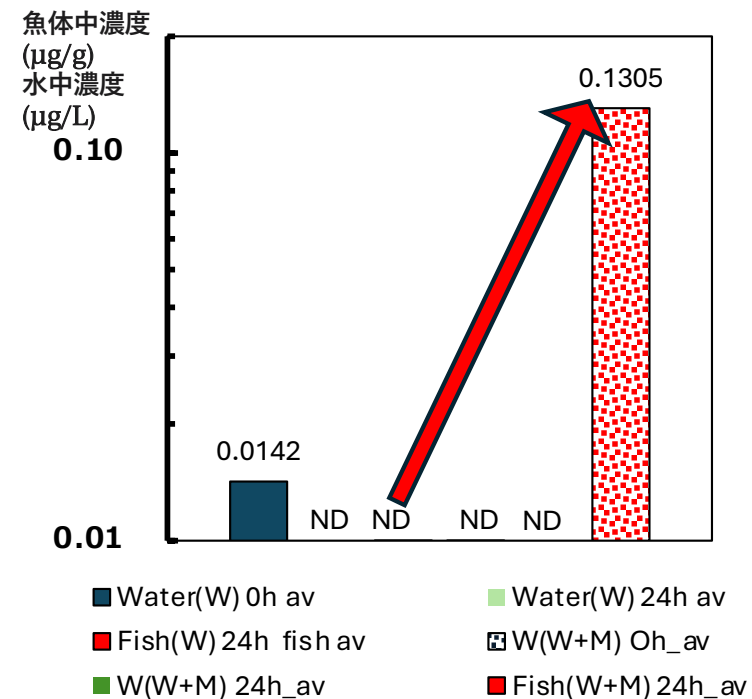
Nap, Acy共にベクター効果がある可能性が考えられた。

実験1 PAHs (16種類)のベクター効果

Acenaphthene(Ace)



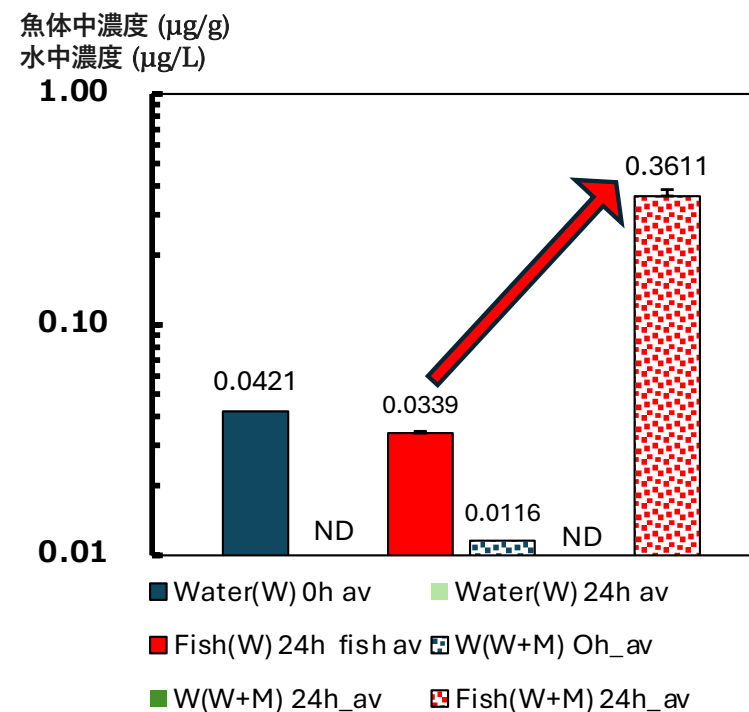
Anthracene(Ant)



Ace, Ant共にベクター効果がある可能性が考えられた。

実験1 PAHs (16種類)のベクター効果

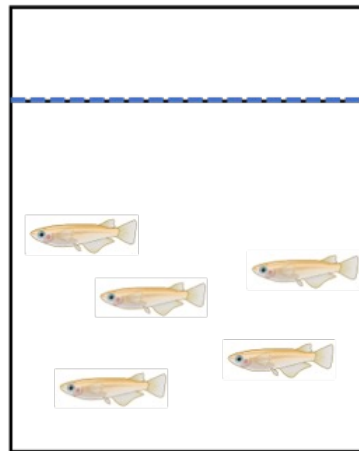
Phenanthrene(Phe)



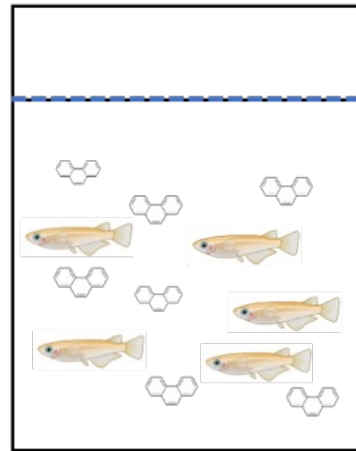
PheでもMP共曝露区の魚体中濃度は増加し、ベクター効果の可能性が考えられた。

Phenanthrene とPE-MPを共曝露

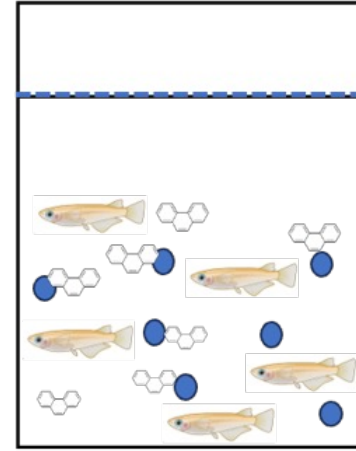
Treatment Groups



Control



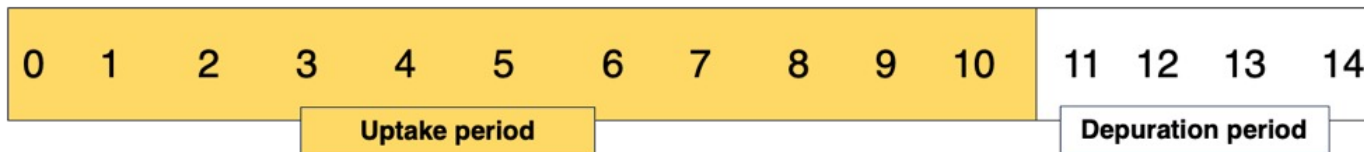
PheW



Phe+MP

- Phe = 
- 58- μ m PE-MP = 
- Species = 
- PheW = Phe (0.2 mg/L)
- Phe+MP = Phe (0.2 mg/L) + PE-MP (6mg/L)
- N = 35 fish/tank

Exposure periods (days)



- Water sampling= day 1, 3, 6, 9
- Fish sampling= day 4, 7, 10, 10(8h) 11, 12, 14

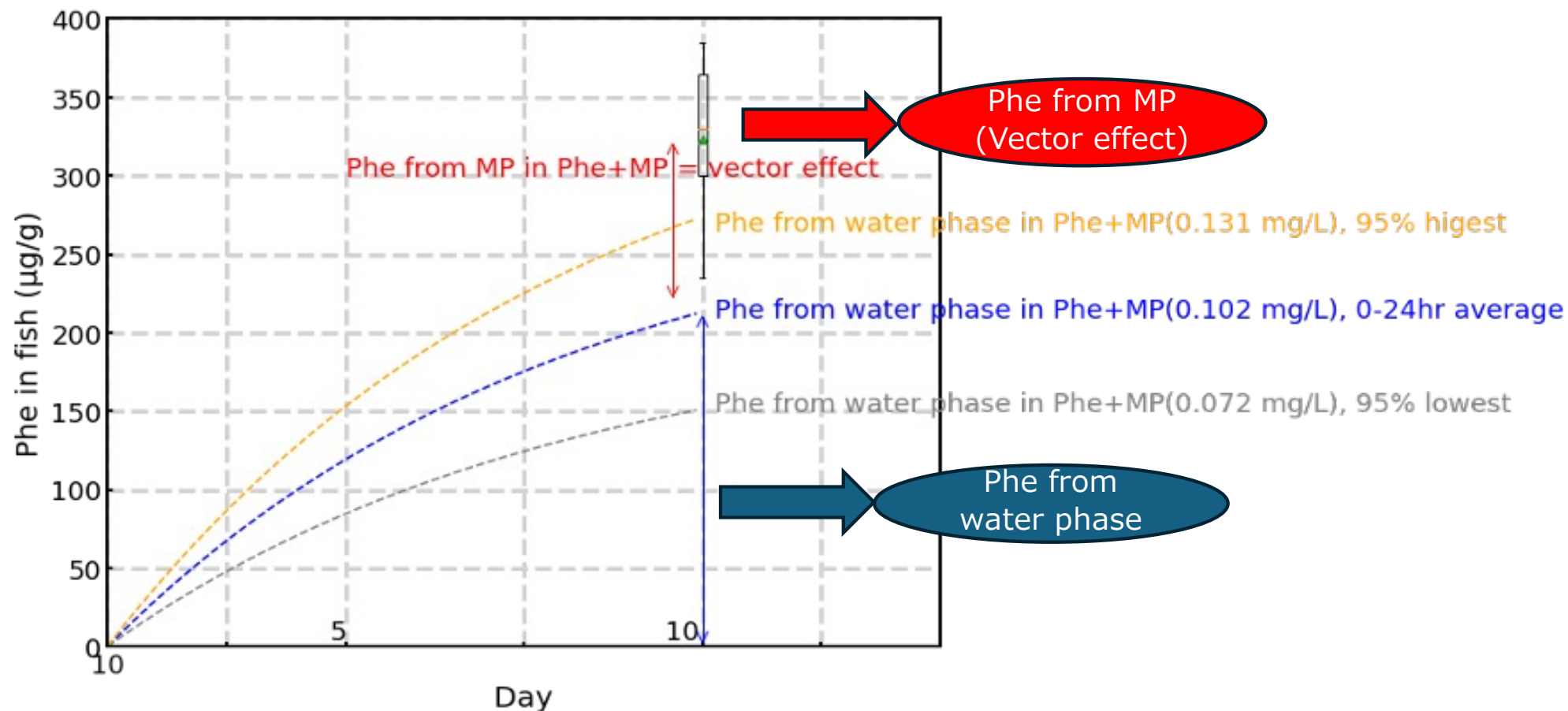


Fig. Showing contribution of MPs in accumulation of Phe in fish (Vector effects) by One-compartment model

Phenanthrene とPE-MPを共曝露時の魚体内濃度
(ベクター効果の推定)

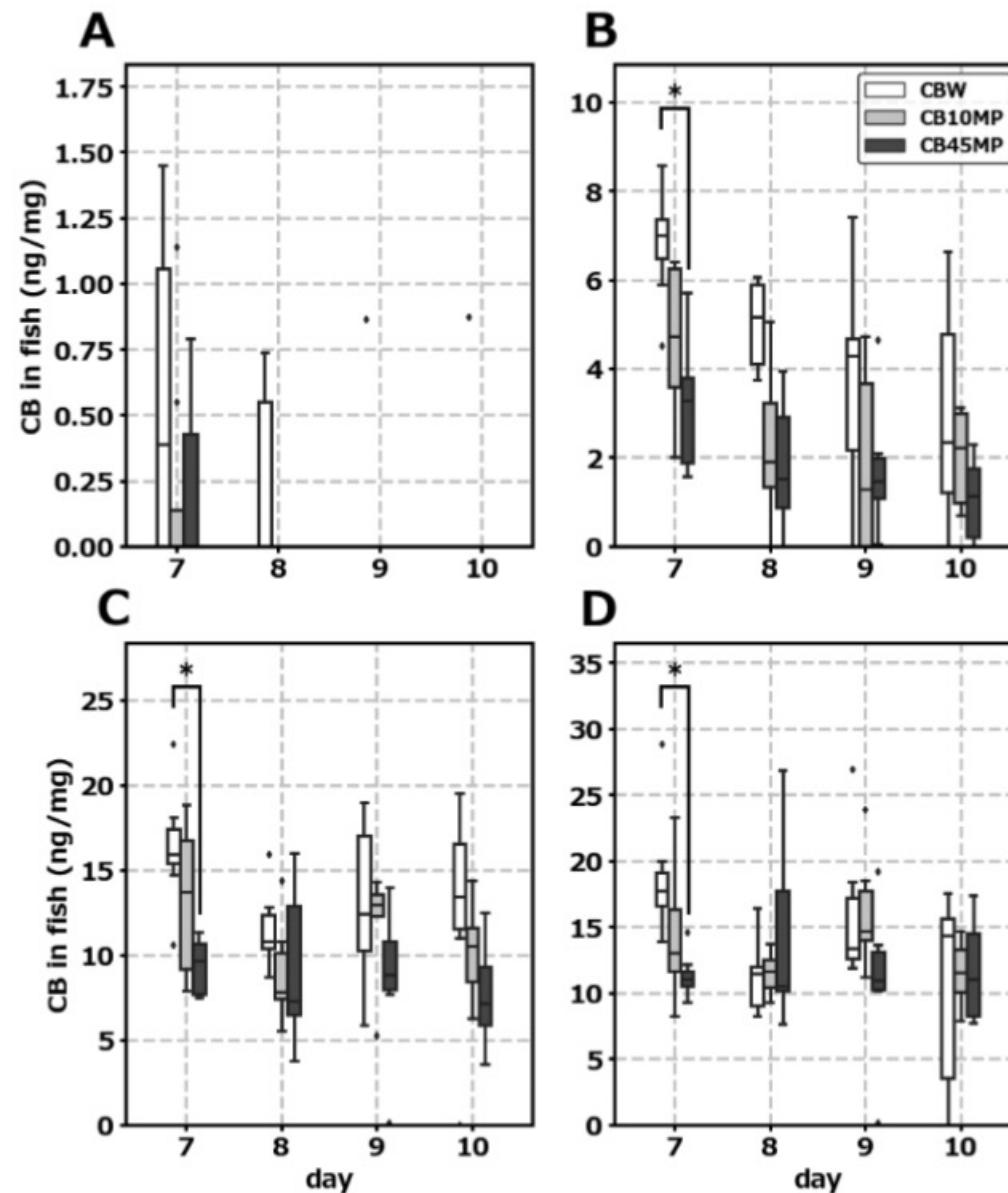
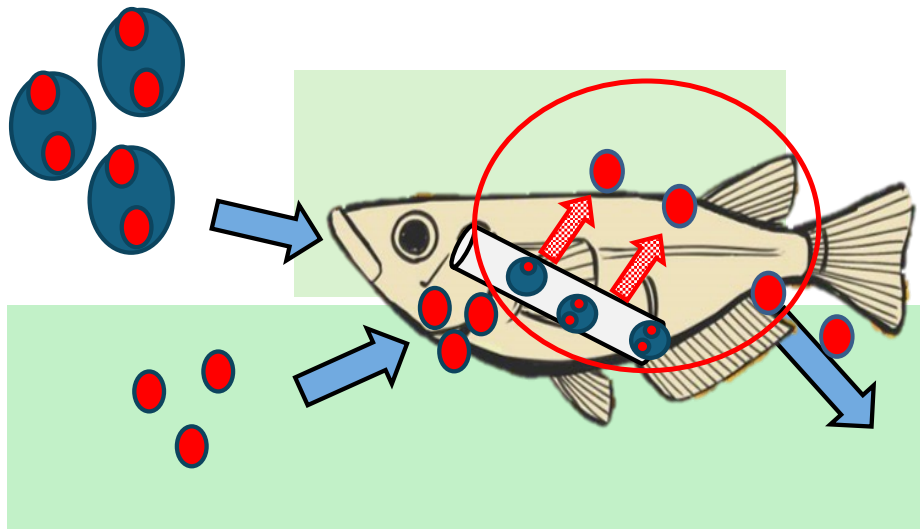


図7 塩素化ベンゼンおよび2種類の粒径（10- μm および45- μm ）のPS-MPに7日間同時曝露されたメダカにおけるCBsの濃度と、その後3日間の排泄期間。A、TriCB；B、TetCB；C、PenCB；D、HexCB。（Al-Emran et al., 2024）より転載

In vivo試験

化学物質+MP 共曝露

Vector Effect!



In vitro 試験

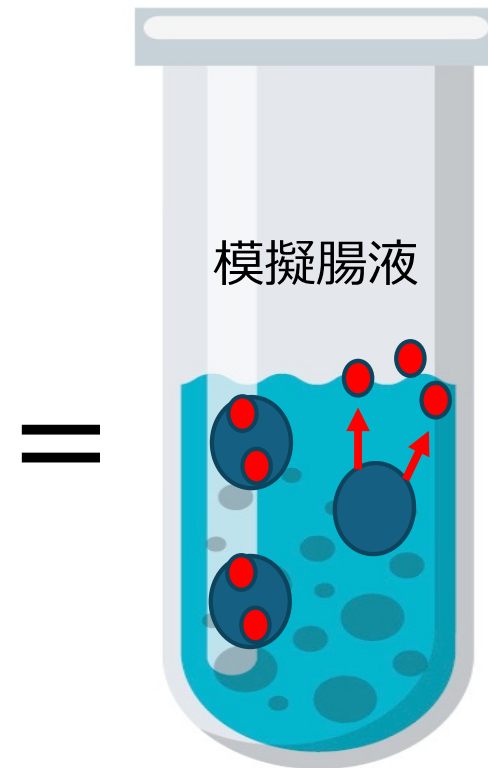


図10. ベクター効果の機構とin vitro試験

Step 1

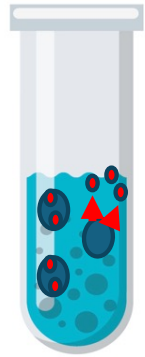
PD+in vitro 試験によるスクリーニング

Step 2

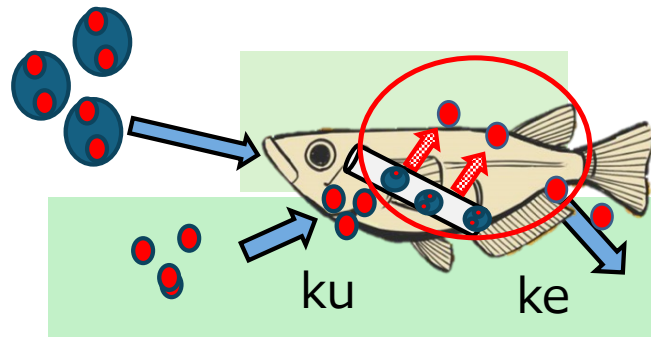
化学物質+MP共曝露試験によるモデル化

Step3

モデル化による実環境での予測評価



模擬腸液



化学物質+ MP共曝露

● : 種々のマイクロプラスチック

● : 種々の化学物質

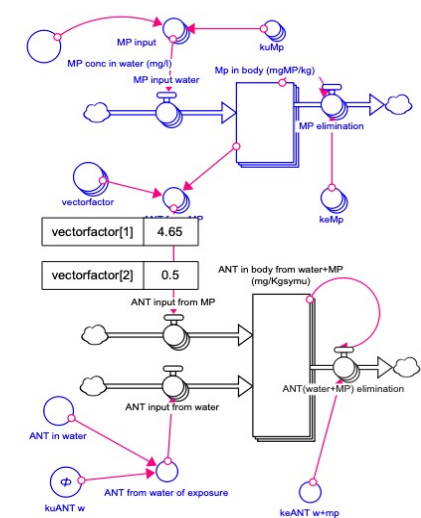
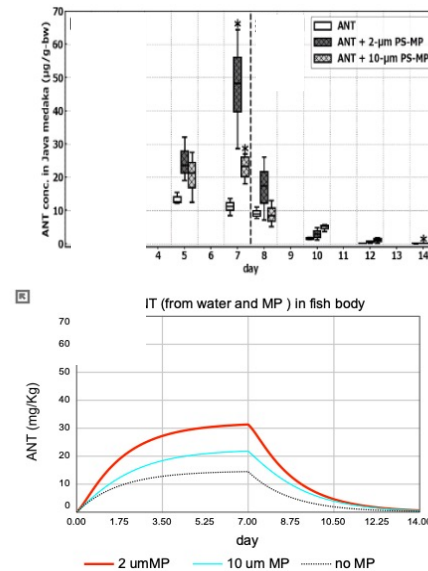


図 13 Passive dosing 吸着法(PD)、in vitro試験、ツイン1-コンパートメントモデル解析を用いたベクター効果の予測評価法

まとめ

マイクロプラスチックは、アントラセンやフェナントレンといった化学物質の生物蓄積を増大させる「ベクター効果」を持つことを確認した。しかしクロルベンゼンでは確認できなかった。

ベクター効果の大きさは、**MP**の粒径が小さいほど顕著になる傾向があった。

構築したモデルにより、実環境レベルの汚染濃度でも、生物への影響が懸念されることを予測した。

簡易なベクター効果評価方法を考案した。

References (成果)

- Assas, M., Qiu, X., Chen, K., Ogawa, H., Xu, H., Shimasaki, Y., Oshima, Y., 2020. Bioaccumulation and reproductive effects of fluorescent microplastics in medaka fish. *Mar. Pollut. Bull.* 158, 111446.
- Liu, Y., Qiu, X., Xu, X., Takai, Y., Ogawa, H., Shimasaki, Y., Oshima, Y., 2021. Uptake and depuration kinetics of microplastics with different polymer types and particle sizes in Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 212, 112007.
- Qiu, X., Saovany, S., Takai, Y., Akasaka, A., Inoue, Y., Yakata, N., Liu, Y., Waseda, M., Shimasaki, Y., Oshima, Y., 2020. Quantifying the vector effects of polyethylene microplastics on the accumulation of anthracene to Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Aquat. Toxicol.* 228, 105643.
- Takai, Y., Tokusumi, H., Sato, M., Inoue, D., Chen, K., Takamura, T., Enoki, S., Ueno, Y., Kang, I.J., Shimasaki, Y., Qiu, X., Oshima, Y., 2022. Combined effect of diazepam and polystyrene microplastics on the social behavior of medaka (*Oryzias latipes*). *Chemosphere* 299, 134403.
- Takai, Y., Tominaga, A., Honda, M., Qiu, X., Shimasaki, Y., Kang, I.J., Oshima, Y., 2023a. Combined effect of anthracene and polyethylene microplastics on swimming speed and cytochrome P4501A monooxygenase expression of Java medaka (*Oryzias javanicus*). *Ecotoxicology* 32, 948–957.
- Takai, Y., Tominaga, A., Uchida, Y., Honda, M., Qiu, X., Shimasaki, Y., Oshima, Y., 2023b. Size effect of polystyrene microplastics on the accumulation of anthracene for Java medaka (*Oryzias javanicus*). *Chemosphere* 338, 139543.
- Tamura, Y., Takai, Y., Miyamoto, H., SeokHyun, L., Liu, Y., Qiu, X., Kang, L.J., Simasaki, Y., Shindo, C., Suda, W., Ohno, H., Oshima, Y., 2024. Alteration of shoaling behavior and dysbiosis in the gut of medaka (*Oryzias latipes*) exposed to 2- μ m polystyrene microplastics. *Chemosphere* 353, 141643.
- Al-Emran, M., Matsudera, M., Honda, M., Takai, Y., Lee, S., Uchida, Y., Qiu, X., Shimasaki, Y., Oshima, Y., 2024. Accumulation of chlorobenzenes in Japanese medaka (*Oryzias latipes*) co-exposed to 10- or 45- μ m polystyrene microplastics. *環境毒性学会誌* 27, 73–86.
- Kizhakkumattam, A., Mako, I., Prakash, H., Oshima, Y., Nagasawa, T., Somamoto, T., Nakao, M., 2025. Development of anti-peptide antibody specific for IgM heavy chain of *Oryzias latipes* and its application to assay of immune response triggered by BSA-coated microplastics. *J. Mar. Sci. Eng.* 13, 659.
- Lee, S., Tsuruda, Y., Honda, M., Mukai, K., Hirasawa, T., Wijaya, D.C., Takai, Y., Simasaki, Y., Oshima, Y., 2025. Fragmentation of expanded polystyrene to microplastics by wharf roach *Ligia* spp. *Mar. Pollut. Bull.* 214, 117769.